

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ**  
**ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА имени А. Н. БЕКЕТОВА**

***МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ***

к проведению практических занятий и самостоятельной работы  
по дисциплине

***«РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ОЧИСТКЕ  
ПРИРОДНЫХ И СТОЧНЫХ ВОД»***

*(для студентов 5 курса дневной формы обучения специальности  
8.06010108 – Водоснабжение и водоотведение)*

**Харьков – ХНУГХ им. А. Н. Бекетова – 2016**

Методические указания к проведению практических занятий и самостоятельной работы по дисциплине «Ресурсосберегающие технологии при очистке природных и сточных вод» (для студентов 5 курса дневной формы обучения специальности 8.06010108 – Водоснабжение и водоотведение) / Харьков. нац. ун-т город. хоз-ва им. А. Н. Бекетова ; сост. : С. С. Душкин, Е. П. Галкина. – Харьков : ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2016. – 34 с.

Составители: С. С. Душкин,  
Е. П. Галкина

Рецензент доц. В. А. Ткачев

Рекомендовано кафедрой водоснабжения, водоотведения и очистки вод,  
протокол № 1 от 27.08.2015 р.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
УКАЗАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ .....	5
СМ 1 РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ОЧИСТКЕ ПРИРОДНЫХ ВОД .....	5
Практическое занятие 1 .....	5
1.1 Расчет расходов реагентов. Подбор оптимальных доз реагентов....	5
1.2 Определение расчетной производительности .....	6
1.3 Активация растворов реагентов .....	6
Практическое занятие 2. Расчет основных параметров активатора реагентов .....	7
<i>Задачи для самоконтроля</i> .....	9
Практическое занятие 3 .....	11
3.1 Расчет распределителей реагентов .....	11
3.2 Перфорированный распределитель коагулянта .....	11
3.3 Отстойники, осветлители, оборудованные тонкослойными модулями .....	13
3.4 Фильтры с плавающей пенополистирольной загрузкой. Дренажи скорых фильтров с пористого полимербетона .....	17
<i>Задачи для самоконтроля</i> .....	20
Практическое занятие 4. Техничко-экономическая эффективность внедрения активированных растворов коагулянта сульфата алюминия при очистке природных вод .....	21
СМ 2 РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД .....	22
Практическое занятие 5 Создание безотходных и замкнутых технологий очистки сточных вод .....	22
Практическое занятие 6 .....	22
6.1 Определение параметров эффективности и энергосбережения очистки сточных вод с помощью мембранных биореакторов (МБР).....	22
6.2 Определение параметров эффективности и энергосбережения с помощью ионообменной очистки сточных вод .....	23
6.3 Определение параметров эффективности и энергосбережения с помощью сорбционной очистки сточных вод .....	24
6.3.1 Обесфторивание воды методом контактно-сорбционной коагуляции .....	25
Практическое занятие 7 Электролизные установки для обеззараживания воды .....	26
Практическое занятие 8 Механическое обезвоживание осадков, образующихся на станциях водоподготовки .....	27
Практическое занятие 9 Экономический и экологический эффект от использования ресурсосберегающих технологий .....	29
СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ДИСЦИПЛИНЫ, КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ .....	30
РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА .....	33

## ВВЕДЕНИЕ

*Целью* изучения дисциплины «Ресурсосберегающие технологии при очистке природных и сточных вод» является рассмотрение путей решения проблем очистки природных и сточных вод действующих сооружений и интенсификации их работы с использованием более производительных процессов или оптимальных технологических режимов, используя ресурсосберегающие технологии.

Необходимость совершенствования технологии производства, дефицит водных ресурсов, повышение требований к степени очистки сточных вод поставили предприятия перед необходимостью решения задач по созданию оборотных циклов водоснабжения, регенерации ценных компонентов, прекращения отрицательного воздействия на окружающую среду. Внедрение технологических схем бессточных и безотходных производств требует осуществления определенных принципов построения водного хозяйства, оптимальной увязки экологических и экономических показателей.

Главными принципами построения экологически чистого ресурсосберегающего производства являются следующие:

- осуществление производственного процесса при минимально возможном числе технологических операций и их сведение, так как не в каждой из них образуются отходы и теряется сырьё;
- переход на непрерывные процессы и их интенсификация;
- предотвращение смешивания различных веществ и обеспечение как можно более быстрого их отделения в виде отходов, поскольку в этом случае обеспечиваются условия для их дальнейшей переработки и выделения в виде товарной продукции. Эти общие принципы распространяются и на производства защитных покрытий (гальваника и покраска – ПЗП), а также печатных плат. Особенно важен для данных производств последний принцип, который требует пересмотра формирования потоков сточных вод и их классификацию, необходимость разделения обработки промывных вод и отработанных концентрированных растворов и электролитов.

В условиях постоянного ужесточения требований водоохраных органов к качеству очистки стоков перед сбросом, и одновременного сокращения лимитов чистой воды на промышленные нужды, требуется новые подходы к традиционным методам очистки.

# УКАЗАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

## СМ 1 РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ОЧИСТКЕ ПРИРОДНЫХ ВОД

### Практическое занятие 1

#### 1.1 Расчет расходов реагентов. Подбор оптимальных доз реагентов

С целью ресурсосбережения процесса коагуляции возможен ряд технических решений. Аэрирование воды, путем подачи сжатого воздуха в вихревые смесители, является одним из методов ресурсосбережения. Это позволяет уменьшить дозу коагулянта по безводному продукту при заданном качестве сырой воды.

Доза безводного коагулянта принимается равной согласно таблице 6 [ДБН]. Доза полиакриламида принимается по [ДБН, п.10.4.3], доза извести для подщелачивания определяется по формуле:

$$D_u = K_u \left( \frac{D_k}{e_k} - \text{Щ}_0 + 1 \right), \text{ мг/дм}^3, \quad (1.1)$$

где  $D_k$  – максимальная доза безводного коагулянта, мг/дм<sup>3</sup>;

$e_k$  – эквивалентная масса коагулянта, мг/мг-экв;

$K_u$  – коэффициент, равный для извести 28;

$\text{Щ}_0$  – минимальная щелочность воды, ммоль/дм<sup>3</sup>.

*Отделение коагулирования.* Общий суточный расход коагулянта, т/сут

$$G_K = \frac{D_p \cdot Q_{\text{сут}}}{10^6}, \text{ т/сут.} \quad (1.2)$$

Общий суточный расход флокулянта, т/сут

$$G_{\text{ПАА}} = \frac{D \cdot Q_{\text{сут}}}{0,08 \cdot 10^6}, \text{ т/сут.} \quad (1.3)$$

*Отделение флокулирования.* При изменении производительности водопроводной очистной станции меняется и суточная потребность в флокулянте, например, полиакриламиде (ПАА):

$$q_{\text{ПАА}} = \frac{Q_p \cdot D_{\text{ПАА}} \cdot 10^{-4}}{B_{\text{ПАА}} \cdot \rho}, \text{ м}^3/\text{ч}; \quad (1.4)$$

где  $B_{\text{ПАА}}$  – концентрация ПАА (принята 0,5%);

$\rho$  – плотность раствора ПАА (принята 1,0 т/м<sup>3</sup>).

## 1.2 Определение расчетной производительности

Необходимая полезная производительность станции определяют исходя из изменения полезной производительности и с учетом повторного использования воды для собственных нужд станции. Расход воды на собственные нужды для сооружений 1 ступени приняты согласно СНиП п. 6.6.

## 1.3 Активация растворов реагентов

К электрохимическим методам очистки сточных вод относятся; электрокоагуляция, электролиз, а также в какой-то степени и гальванокоагуляция. Очень часто электрохимические методы очистки ошибочно пытаются противопоставлять реагентным.

Достижение ресурсосбережения возможно за счет активирования реагентов. В результате проведения многочисленных исследований японских ученых и научной школы профессора Душки на С.С. и его последователей было установлено, целесообразность применения активированных растворов коагулянтов. Установлено, что при использовании активатора реагентов (коагулянта, флокулянта) происходит увеличение производительности очистных сооружений водопровода, снижение расчетных доз коагулянта.



Рисунок 1.1 – Схема цепи аппаратов для активации растворов коагулянта

*Активаторы реагентов, конструктивные особенности.* Для активирования растворов реагентов разработаны специальные установки, предусматривающие последовательную и одновременную активацию исходного раствора коагулянта магнитным полем и насыщение его анодно-растворенным железом.

## Практическое занятие 2

### Расчет основных параметров активатора реагентов

Основным *технологическим критерием* эффективности использования активированного раствора коагулянта сульфата алюминия принято остаточное содержание взвешенных веществ в осветленной воде, т.к. именно он и является

одним из основных факторов, характеризующих работу очистных сооружений водопровода как в целом, так и их отдельных сооружений, например, отстойников, фильтров и др. Получаемый эффект активации раствора коагулянта магнитным полем определяется по отношению:

$$\mathcal{E} = \frac{D_0}{D_m} \cdot 100\%, \quad (2.1)$$

где  $\mathcal{E}$  – эффект активации, %;

$D_0$  – остаточное содержание взвешенных веществ в осветленной воде (оптическая плотность взвеси в пробе);

$D_m$  – то же при обработке воды активированным коагулянтом.

Эффективность воздействия активированного раствора коагулянта на гидравлическую крупность коагулируемой взвеси, оседающей со скоростью 1,2 мм/с и более и 0,2 мм/с и более, определяли по отношению:

$$E = \frac{E_M}{E_0} \cdot 100\%, \quad (2.2)$$

где  $E$  – эффективность воздействия активированного раствора коагулянта, %;

$E_M$  – процент взвеси, выпавшей в воде, обработанной активированным раствором;

$E_0$  – то же в воде при обычной коагуляции.

*Эффективность обработки (осветления воды)* определяется по формуле

$$\mathcal{E} = \frac{C}{C_{акт}} \cdot 100\%, \quad (2.3)$$

где  $\mathcal{E}$  – эффективность активации, %;

$C$  – остаточное содержание взвешенных веществ в осветленной воде, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_{акт}$  – то же, но при обработке воды активированным раствором коагулянта, мг/дм<sup>3</sup>.

*Сравнение экспериментальных и расчетных значений* величины цветности в осветленной воде выполнено по формуле:

$$E(\mathcal{C}_{осв.}) = \frac{(\mathcal{C}_{осв.})_{экс} - (\mathcal{C}_{осв.})_{расч}}{(\mathcal{C}_{осв.})_{экс}} \cdot 100\%. \quad (2.4)$$

Эффективность влияния раствора сульфата алюминия на снижение величины  $\xi$ -потенциала золя гидроксида алюминия определялась уравнением:

$$\mathcal{E}_{\xi} = \frac{\xi_0 - \xi_1}{\xi_0} \cdot 100\%, \quad (2.5)$$

где  $\mathcal{E}_{\xi}$  – эффективность магнитно-электрической обработки  $Al_3(SO_4)_3$  на снижение дзета-потенциала золя  $Al(OH)_3$ , %;

$\xi_0$  – электрокинетический потенциал золя  $Al(OH)_3$  в условиях обычной коагуляции, мВ;

$\xi_1$  – то же в условиях коагуляции с раствором  $Al_2(SO_4)_3$ , подвергнутым магнитно-электрической обработке, мВ.

Удельную адсорбцию гуминов на гидроксида алюминия определяли по следующему уравнению:

$$\Gamma = \frac{\Gamma' - \Gamma''}{M}, \text{ мг/г}, \quad (2.6)$$

где  $\Gamma$  – удельная адсорбция гуминов мг/л;

$\Gamma'$  – содержание гуминовых веществ в исходной воде, мг;

$\Gamma''$  – то же, после обесцвечивания, мг;

$M$  – количество гидроксида алюминия, образовавшегося после гидролиза, г.

Степень структурно-механической гидратации осадка, осевшего с гидравлической крупностью 0,2 мм/с и более по отношению:

$$\Gamma_0 = \frac{\gamma_T - \gamma_0}{\gamma_0} \approx \frac{\gamma_T}{\gamma_0}, \quad (2.7)$$

где  $\gamma_T$  – удельный вес твердого вещества, образующего каркас хлопьев осадка, г/мл;

$\gamma_T$  – весовое содержание твердой фазы в единице объема осадка, г/мл.

Изменение напряженности магнитного поля в рабочем зазоре активатора в зависимости от силы тока подаваемого на катушку. При этом напряженность магнитного поля определялась по формуле:

$$H = \frac{8C_{\phi}\alpha_0}{S_m}, \quad (2.8)$$

где  $H$  – напряженность магнитного поля, КА/м;

$\alpha$  – отклонения стрелки милливольтметра (по шкале);

$C_{\phi}$  – постоянная прибора;

$S_m$  – постоянная катушки.



Потребляемая мощность активатора:

$$P = m \cdot I \cdot U_n, \text{ Вт} \quad (2.9)$$

где  $m$  – количество намагничивающих катушек;

$I$  – сила расчетного тока, А.

### ***Задачи для самоконтроля***

**Задача 1.** Определите будет ли оптимальным отношение ионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  при магнитной обработке воды при общем солесодержании 950 мг/л,  $\text{Ca}^{2+}$  – 42 мг/л,  $\text{Mg}^{2+}$  – 39 мг/л, если вода гидрокарбонатного класса. А также будет ли оптимальным отношение ионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  по отношению к ионам  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  при содержании  $\text{Na}^+ = 11$  мг/л;  $\text{K}^+ = 9,5$  мг/л;  $\text{SO}_4^{2-} = 26$  мг/л;  $\text{Cl}^- = 37$  мг/л.

**Задача 2.** Определите изменение коррозионных свойств воды при магнитной обработке в %, если масса коррозионных отложений на образцах, находящихся в воде, не подвергнутой магнитной обработке  $M_0$  – 12,1 мг и масса коррозионных отложений на образцах, находящихся в воде, подвергнутой магнитной обработке  $M_k$  – 8,8 мг.

**Задача 3.** Определите среднюю толщину прокорродированного слоя трубы при массе образца до коррозии  $m_0$  – 144 мг и массе образца после коррозии  $m_1$  – 165 мг, поверхность образца  $S = 0,07 \text{ м}^2$ , время  $t = 36$  ч.

**Задача 4.** Определите коагуляционную способность или количество выпавшей взвеси с гидравлической крупностью 1,2 мм/с и больше, если воду обработали активированным раствором коагулянта. При следующих исходных данных: прирост массы фильтра после фильтрации через него пробы воды с осадком из конусной части цилиндра через 36 мин  $q_1 = 65$  мг/л, содержание взвеси в исследуемой воде  $m = 150$  мг/л, объем воды в цилиндре  $V = 500$  мл.

**Задача 5.** Определите коагуляционную способность или количество выпавшей взвеси с гидравлической крупностью 0,2 мм/с и больше, если воду обработали активированным раствором коагулянта. При следующих исходных данных: прирост массы фильтра после фильтрации через него пробы воды с осадком из конусной части цилиндра через 6 мин  $q_2 = 35,5$  мг/л, содержание взвеси в исследуемой воде  $m = 150$  мг/л, объем воды в цилиндре  $V = 500$  мл.

**Задача 6.** Определите удельную адсорбционную способность гуминов на гидроксиде алюминия при массе гуминовых веществ в воде исходной  $\Gamma' = 55$  мг и после обесцвечивания  $\Gamma'' = 15$  мг, массе гидроксида алюминия, образовавшегося после гидролиза  $M = 23$  мг.

**Задача 7.** Определите эффективность магнитной обработки воды с целью снижения накипеобразования при количестве накипи, образовавшейся из необработанной воды  $A_n=115$  мг и количестве накипи, образовавшейся из омагниченной воды  $A_m=82$  мг.

**Задача 8.** Определите потребляемую мощность активатора реагента при расчетном токе  $I = 8,5$  А, номинальном напряжении источника питания  $E=24$  В и количестве намагничивающих катушек  $n_k=2$ .

**Задача 9.** Определить напряжение магнитного поля в рабочем зазоре активатора реагента при постоянной прибора, милливольты на деление  $C_\phi=10^3$ , отклонении стрелки милливольтметра в делениях шкалы  $\alpha=25$  и постоянной измерительной катушки-датчика, определяемой при помощи образцов приборов  $\mu_0=455$ .

**Задача 10.** Определить степень структурно-механической гидратации осадка, оседающего с гидравлическую крупность 0,2 мм/с и больше при плотности твердого вещества, образующего каркас хлопьев осадка  $\gamma_T=0,81$  г/см<sup>3</sup> и массе твердой фазы в единице объема осадка  $\gamma_0=0,015$  г/см<sup>3</sup>.

**Задача 11.** Определите какое количество коагулянта необходимо загрузить в растворный бак для получения 20%-ного раствора коагулянта ( $Al_2(SO_4)_3$ ), если объем бака  $W=8$  м<sup>3</sup>, содержание чистого вещества в технологическом продукте  $p=33,5\%$ , плотность раствора коагулянту  $\gamma=1,1$  т/м<sup>3</sup>?

**Задача 12.** Определите эффект активации раствора коагулянта магнитным полем при остаточном содержании взвешенных веществ в осветленной воде (оптическая плотность в пробе)  $D_0=3610$  мг/л и остаточном содержании взвешенных веществ при обработке воды активированным коагулянтом  $D_m=1850$  мг/л.

**Задача 13.** Определить эффективность магнитно-электрической обработки раствора сульфата алюминия на снижение  $\xi$ -потенциала золя гидроксида алюминия при электрокинетическом потенциале золя  $Al(OH)_3$  в условиях обычной коагуляции  $\xi_0=124$  мВ и электрокинетическом потенциале золя  $Al(OH)_3$  коагуляции с раствором  $Al_2(SO_4)_3$   $\xi_0=124$  мВ.

## Практическое занятие 3

### 3.1 Расчет распределителей реагентов

В практике водоподготовки должно быть обеспечено быстрое и равномерное распределение реагентов в обрабатываемой воде. Особенно важно увеличение скорости распределения при введении коагулянтов (растворов солей алюминия и железа) для создания условий их эффективного и рационального использования.

### 3.2 Перфорированный распределитель коагулянта

Распределитель предназначен для введения растворов коагулянта или флокулянта и может быть установлен в трубе перед смесителем, при поступлении воды в смеситель или в одном из отделений входной камеры перед контактными осветлителями. В последнем случае рекомендуется устанавливать распределитель в проеме перегородки, создающем сужение потока и увеличение его турбулентности.

Потери напора при обтекании распределителя водой составляют 10-15 см. Распределители из перфорированных трубок не рекомендуется применять при обработке воды раствором коагулянта, содержащим нерастворимые примеси.

Для введения растворов минеральных коагулянтов следует применять распределители из винипластовых труб или из нержавеющей стали.

Число отверстий в распределителе следует определять по расходу раствора коагулянта и величине потери напора в распределителе 30-50 см.

### Порядок расчета

1. Расход раствора коагулянта  $q_K$ , см<sup>3</sup>/с, рассчитывается по формуле:

$$q_K = \frac{D_K \cdot q_B \cdot 100}{C_K \cdot \rho}, \text{ см}^3/\text{с}, \quad (3.1)$$

где  $q_B$  – расход воды, проходящей через распределитель, м<sup>3</sup>/с;

$C_K$  – концентрация раствора коагулянта, % по массе;

$\rho$  – плотность раствора коагулянта концентрации  $C_K$ , г/см<sup>3</sup> (табл. 3.1).

Плотность раствора коагулянта при заданной концентрации следует принимать по таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Плотность раствора коагулянта в зависимости от его концентрации

Концентрация раствора $Al_2(SO_4)_3$ , % по массе	Плотность раствора, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>
1	1,009
2	1,019
4	1,040
6	1,060
8	1,083
10	1,105
20	1,226

2. Расход раствора коагулянта  $q_o$ , см<sup>3</sup>/с, проходящего через одно отверстие определяется по таблице 3.2.

$$q_o = \mu \omega \sqrt{2gh} \quad (3.2)$$

где  $\mu$  - коэффициент расхода, приближенно равный 0,75;

$\omega$  - площадь отверстия, см<sup>2</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$h$  – заданная потеря напора в распределителе (см. выше).

В таблице 3.2 приведены расходы раствора коагулянта, проходящего через одно отверстие, при потере напора в распределителе, равной 30 см; указаны рекомендуемые диаметры лучей в зависимости от диаметра отверстий.

Таблица 3.2 – Расходы раствора коагулянта

Диаметр отверстия, мм	Расход раствора коагулянта, проходящего через одно отверстие при $h = 30$ см, см <sup>3</sup> /с	Диаметр луча, мм
3	12,8	15
4	22,8	20
5	35,6	25
6	51,3	32

3. Число отверстий  $n_o$  в распределителе (при выбранном диаметре отверстий) надлежит определять по формуле:

$$n_o = \frac{q_k}{q_o}, \text{ шт.} \quad (3.3)$$

При  $n_0 > 32$  следует увеличить диаметр отверстий и повторить расчет.

В целях уменьшения вероятности засорения отверстия должны быть расположены так, чтобы их диаметр увеличивался от внутренней поверхности луча к наружной (после сверления отверстий на лучах сверлом расчетного диаметра).

4. Число лучей в распределителе следует выбирать так, чтобы на каждом луче было не более 3-4 отверстий (число лучей должно быть не более 8).

Отверстия на лучах распределителя должны быть расположены симметрично относительно оси трубы, по которой поступает обрабатываемая вода, а на каждом луче – симметрично относительно точки, отстоящей от стенки трубы на 0,25 диаметра трубы  $D$ .

Расположение отверстий на лучах распределителя следует выбирать в соответствии с таблицей 3.3.

Таблица 3.3 – Расположение отверстий на лучах распределителя

Число отверстий на луче распределителя	Расстояние от внутренней стенки трубы до отверстия, доли от $D$
1	0,25
2	0,2; 0,3
3	0,2; 0,25; 0,3
4	0,16; 0,22; 0,28; 0,34

### **3.3 Отстойники, осветлители, оборудованные тонкослойными модулями**

Тонкослойные элементы или блоки могут выполняться из мягких или полужестких полимерных пленок, соединенных в сотовую конструкцию, или из жестких листовых материалов в виде отдельных полок (рис. 3.1).

Размеры в плане отдельных блоков для удобства их монтажа и эксплуатации следует принимать  $1 \times 1$  –  $1,5 \times 1,5$  м с учетом фактических размеров сооружения. Высоту поперечного сечения тонкослойного ячеистого элемента рекомендуется принимать равной 0,03-0,05 м. Ячейки могут быть приняты любой формы, исключаяющей накопление в них осадка. Угол наклона элементов необходимо принимать 50-60° (меньшие значения – для более мутных вод, большие – для маломутных цветных). Длину тонкослойных элементов следует определять специальным расчетом и принимать 0,9-1,5 м.

Сбор осветленной воды из тонкослойных сооружений следует осуществлять по желобам с затопленными отверстиями или открытыми водосливами, например, треугольного профиля, расположенными на расстоянии не более 2 м один от другого.

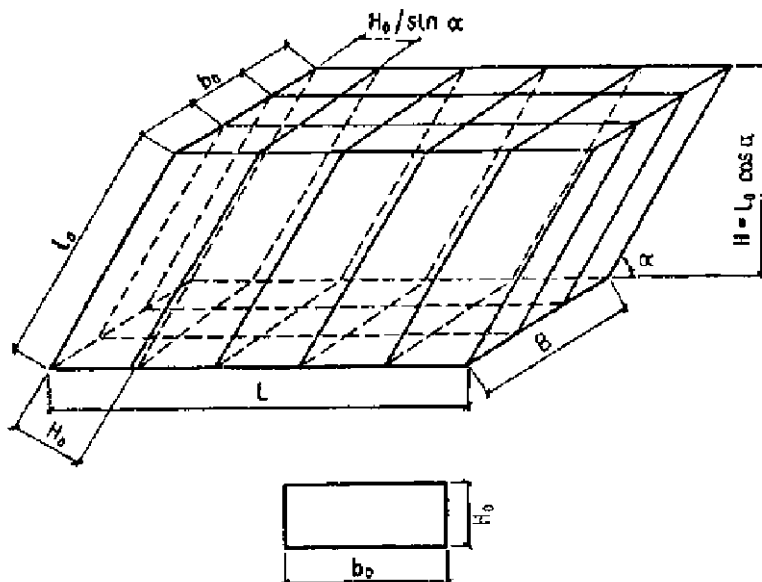


Рисунок 3.1 – Конструктивные параметры тонкослойных элементов в блоке  
 $l_0$  – длина тонкослойного элемента;  $b_0$  – ширина тонкослойного элемента;  
 $H$  – высота тонкослойного элемента;  $L$  – длина тонкослойного сотоблока;  
 $B$  – ширина тонкослойного сотоблока

### Порядок расчета тонкослойных отстойников и осветлителей

Расчет технологических и конструктивных параметров сооружений, а также отдельных тонкослойных элементов следует производить по зависимости

$$l_o = \varphi K_{\Phi} H_0 \left[ \frac{v_0}{u_o \cos \alpha K_{ар} \beta} - K_{ст} (\operatorname{tg} \alpha + c \operatorname{tg} \alpha) \right]. \quad (3.4)$$

Для удобства расчета формула (1.2) приведена к виду

$$q_{уд} = \frac{U_0 \beta K_{az}}{K_1} \left( \frac{l_0}{K_2 H_0} + 1 \right) \quad (3.5)$$

$$l_o = K_2 \cdot H_o \left( \frac{q_{уд} \cdot K_1}{u_o \cdot \beta \cdot K_{az}} - 1 \right) \quad (3.6)$$

где  $K_1$  и  $K_2$  – обобщенные расчетные коэффициенты:

$$K_1 = \frac{1}{K_{cm} \times K_{o.u} \times K_{\kappa}}; \quad (3.7)$$

$$K_2 = \frac{\varphi \times K_{\Phi} \times K_{cm}}{\sin \alpha \times \cos \alpha}; \quad (3.8)$$

где  $\varphi$  – коэффициент, учитывающий влияние гидродинамических условий потока в тонкослойных элементах, (принимается по табл. 7);

Коэффициент  $\varphi$  следует определять по данным таблицы 3.4, в которой  $b_0$  – ширина тонкослойного элемента,  $H_0$  – высота тонкослойного элемента.

Таблица 3.4 – Характеристика тонкослойного элемента

Характеристика тонкослойного элемента	Значение $b_0 / H_0$			
	1,0-2,5	2,5-5,0	5,0-10	10
Значение $\varphi$	1,25	1,15	1,05	1,0

$K_\phi$  – коэффициент, учитывающий форму поперечного сечения тонкослойных элементов (для сечения прямоугольной формы  $K_\phi = 1,0$ ; круглой – 0,785; треугольной – 0,5; шестиугольной – 0,65-0,75; при использовании труб и межтрубного пространства - 0,5).

$H_0$  – высота тонкослойного элемента;

$u_0$  – расчетная скорость осаждения взвеси, м/ч (принимается согласно [4, табл. 16]);

$\alpha$  – угол наклона тонкослойных элементов к горизонту, град (принимается 50–60°);

$\beta$  – коэффициент, учитывающий стесненное осаждение взвеси под тонкослойными элементами;

$K_{ag}$  – коэффициент агломерации, учитывающий влияние осадка, выделяющегося из тонкослойных элементов на интенсификацию хлопьеобразования. Значение произведения  $\beta \times K_{ag}$  следует принимать равным 1,15-1,3.

$K_{cm}$  – коэффициент, учитывающий стеснение сечения потока в тонкослойном элементе сползающим осадком. Значение  $K_{cm}$  рекомендуется принимать в среднем 0,7-0,8.

$K_{o.u.}$  – коэффициент, учитывающий гидравлическое совершенство тонкослойного сооружения и степень его объемного использования – отношение фактического к расчетному времени пребывания воды ( $K_{o.u.} = 0,6–0,75$ ).

$K_k$  – конструктивный коэффициент, равный отношению фактической открытой для движения воды площади тонкослойных элементов к общей площади зеркала воды отстойного сооружения (0,7–0,95). Значение коэффициента  $K_k$  следует определять по фактическим данным с учетом толщины материала для тонкослойных элементов.

Расчетная скорость осаждения взвеси должна приниматься в соответствии с опытом эксплуатации сооружений, работающих в аналогичных условиях. При отсутствии такого опыта следует производить технологическое

моделирование процессов хлопьеобразования и тонкослойного осаждения с целью определения требуемого значения  $u_o$ .

Полученные по расчету размеры тонкослойных элементов и тонкослойных сооружений в целом, а также значения удельных нагрузок надлежит проверить и скорректировать с учетом обеспечения минимального времени между выпусками осадка 6-8 ч. При этом высоту защитной зоны для вертикального отстойника следует принять равной 1,5 м, для горизонтального – 1 м. Высоту зоны сбора осветленной воды рекомендуется принимать не менее 0,4-0,5 м.

**Пример.** *Расчет тонкослойного осветлителя.* Качество исходной воды: цветность – 20 град; содержание взвеси – 500 мг/л; доза коагулянта – 50 мг/л; расчетная скорость осаждения взвеси – 0,40 мм/с (1,44 м/ч). Тонкослойные элементы прямоугольной формы, угол наклона  $55^\circ$ . Значения конструктивного коэффициента и коэффициента объемного использования принимаются соответственно  $K_k=0,7$  и  $K_{oi}=0,6$ .

*Решение.* С учетом реконструкции существующих осветлителей и их фактических размеров установлено, что нагрузка на сооружения не может быть более 6 м/ч, а высота тонкослойных элементов – 1,2 м.

$$V_k = \frac{1,44 \cdot 1,3}{0,57 \cdot 0,82} \left( \frac{1,2}{2,15 \cdot 0,05} + 1 \right) =$$

$$l_o = 2,15 \cdot 0,05 \left( \frac{6 \cdot 3,0}{1,44 \cdot 1,3} - 1 \right) =$$

$$K_1 = \frac{1}{0,8 \cdot 0,6 \cdot 0,7} = 3,0;$$

$$K_2 = \frac{1,25 \cdot 1 \cdot 0,8}{0,57 \cdot 0,82} = 2,15.$$

Принимаем удельную нагрузку равной 6 м/ч и длину тонкослойных элементов 1,0 м.



### 3.4 Фильтры с плавающей пенополистирольной загрузкой. Дренажи скорых фильтров с пористого полимербетона

#### Порядок расчета распределительной системы для подачи воздуха в фильтровальных сооружениях с водовоздушной промывкой

Расчет распределительных труб и коллектора следует производить исходя из суммарной площади отверстий (для труб) или суммарной площади ответвлений (для коллектора), т.е. величины  $f, \text{м}^2$ , определяемой по формулам:

$$f \leq \frac{aF}{\mu\sqrt{1-\zeta}} \quad \text{при } \zeta < 1 \quad (3.9)$$

$$f \leq \frac{aF}{\mu\sqrt{\zeta-1}} \quad \text{при } \zeta > 1 \quad (3.10)$$

где  $a$  – характеристика трубопровода, определяемая по рисунку 1.6, в зависимости от допустимой степени неравномерности распределения воздуха по площади сооружения, имея в виду, что общая неравномерность  $\Delta_{\text{общ}}$  представляет собой сумму неравномерностей распределения в ответвлениях  $\Delta_0$  и в коллекторе  $\Delta_{\text{кол}}$ , причем  $\Delta_{\text{общ}} = \Delta_0 + \Delta_{\text{кол}} \leq 0,02$ ;

$F$  – площадь поперечного сечения рассматриваемого трубопровода (ответвления или коллектора);

$\mu$  – коэффициент расхода; для ответвлений определяется в зависимости от диаметра зерен загрузки фильтровального сооружения по рисунку 1.7; при применении гравийной загрузки следует принимать равным 0,54;

$\zeta$  – коэффициент сопротивления трубопровода, зависящий от его длины  $l$  и диаметра  $d$ .

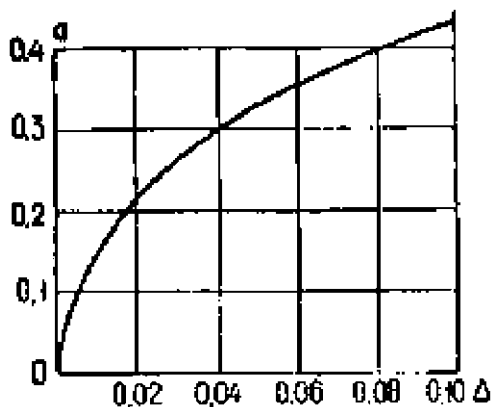


Рисунок 3.2 – Номограмма зависимости между неравномерностью распределения воздуха  $\Delta$  и характеристикой трубопровода  $a$

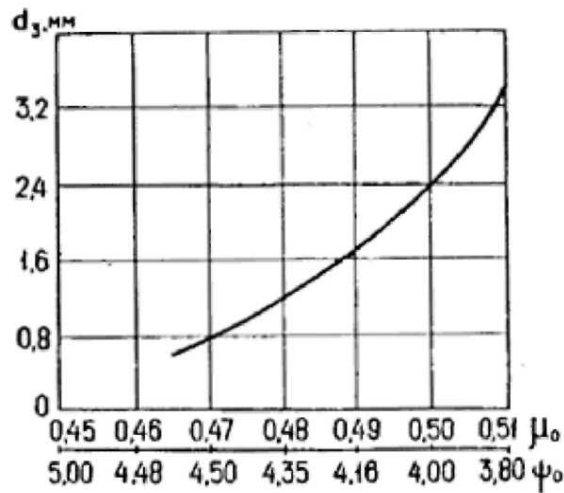


Рисунок 3.3 – Номограмма зависимости между коэффициентом  $\mu_0$  (или коэффициентом  $\Psi_0$ ) и крупностью песчаной загрузки  $d_3$

Коэффициент сопротивления  $\zeta$  следует определять по формуле:

$$\zeta = 0,0044 \frac{l}{d} \quad (3.11)$$

а величину  $\mu_{\text{кол}}$  – по формуле:

$$\mu_{\text{кол}} = \sqrt{\frac{1}{5 + \psi_{\text{общ}}}} \quad (3.12)$$

где  $\psi_{\text{общ}}$  – общий коэффициент сопротивления по формуле:

$$\psi_{\text{общ}} = \frac{1 - \zeta_0}{\sin^2 \left( \frac{a_0 \cdot 180^\circ}{\pi} \right)} + \zeta_0 \quad (3.13)$$

**Пример расчета.** Фильтр имеет отделения длиной 6 м и шириной 5 м. Интенсивность подачи воздуха 20 л/(с·м<sup>2</sup>). Распределительная система находится в гравийном слое. Расстояния между трубами в осях – 300 мм.

*Решение.* На основе предварительного расчета принимаем диаметр ответвлений равным 50 мм, площадь сечения трубы 0,0019 м<sup>2</sup>, расход воздуха на одну трубу (5·0,3·20) / 1 000 = 0,03 м<sup>3</sup>/с, скорость на входе в трубу 0,03 / 0,0019 = 15,8 м/с, что приемлемо.

Принимаем  $\Delta_0 = \Delta_{\text{кол}} = 0,01$ .

По рисунку 1.6 и 1.7  $a_0 = a_{\text{кол}} = 0,14$ ;  $\mu_0 = 0,54$ .

По формуле

$$\zeta = 0,0044 \frac{l}{d} = 0,0044 \frac{5}{0,05} = 0,44 < 1,0$$

Тогда по формуле 1.9

$$f \leq \frac{aF}{\mu\sqrt{1-\zeta}} = \frac{0,14 \cdot 0,0019}{0,54\sqrt{1-0,44}} = 0,000656 \text{ м}^2.$$

Отсюда скорость истечения воздуха из отверстий будет  $0,03 / 0,000656 = 45,7$  м/с, что соответствует требованиям.

Принимаем 52 отверстия диаметром 4 мм с шагом 96 мм.

По предварительному расчету задаемся диаметром коллектора 300 мм, площадь сечения трубы –  $0,0707 \text{ м}^2$ , расход воздуха в начале коллектора  $(20 \cdot 5 \cdot 6) / 0,6 \text{ м}^3/\text{с}$ , скорость движения воздуха  $0,6 / 0,0707 = 8,5$  м/с.

По формуле (3.11):

$$\zeta_{\text{кол}} = 0,0044 \frac{6}{0,3} = 0,088.$$

По формуле (3.13):

$$\psi_{\text{общ}} = \frac{1-0,44}{\sin^2 \left( \frac{0,14}{3,14} 180 \right)} + 0,44 = 29,34$$

По формуле (3.12) определим:

$$\mu_{\text{кол}} = \sqrt{\frac{1}{5,5 + 29,34}} = 0,17.$$
$$F_{\text{кол}} = \frac{\mu_{\text{кол}} \sum f_0 \sqrt{1-\zeta_{\text{кол}}}}{a_{\text{кол}}}$$

Число ответвлений – 20 и  $\sum f_0 = 20 \cdot 0,0019 = 0,038 \text{ м}^2$ , тогда:

$$F_{\text{кол}} = \frac{\sqrt{1-0,088} \cdot 0,17 \cdot 0,038}{0,14} = 0,044 \text{ м}^2$$

Этой площади соответствует диаметр трубы, равный 0,238 м.

Таким образом, в соответствии с уточненным расчетом в качестве коллектора могут быть приняты трубы диаметром 250 мм. Скорость движения воздуха в начале коллектора – 12,2 м/с, что несколько превышает желательную величину, но может быть допущено.

## **Задачи для самоконтроля**

**Задача 1.** Произведите расчет перфорированного распределителя коагулянта, если через смеситель проходит расход воды  $Q = 6\,700\text{ м}^3/\text{ч}$ , мутность воды составляет  $200\text{ мг/дм}^3$ , цветность  $55\text{ град}$ , концентрация раствора коагулянта  $10\%$  (по массе) при этом плотность раствора  $\rho = 1,105\text{ г/см}^3$ .

**Задача 2.** Произведите расчет тонкослойного отстойника. Качество исходной воды: цветность  $130\text{ град}$ , мутность  $90\text{ мг/дм}^3$ , доза  $45\text{ мг/дм}^3$  по безводному продукту, расчетная скорость осаждения взвеси  $0,32\text{ мм/с}$ . Тонкослойные элементы прямоугольного сечения размеры в плане  $0,05 \times 0,5\text{ м}$  и угол наклона  $\alpha = 60^\circ$  при значениях коэффициентов  $K_k = 0,8$ ;  $K_{o.и.} = 0,75$ ; нагрузка на сооружение составляет  $3,9\text{ м}^3/\text{ч}$ .

**Задача 3.** Произведите расчет тонкослойного осветлителя. Качество исходной воды: цветность  $50\text{ град}$ , мутность  $750\text{ мг/дм}^3$ , доза  $60\text{ мг/дм}^3$  по безводному продукту, расчетная скорость осаждения взвеси  $0,44\text{ мм/с}$ . Тонкослойные элементы прямоугольного сечения размеры в плане  $0,05 \times 0,5\text{ м}$  и угол наклона  $\alpha = 50^\circ$  при значениях коэффициентов  $K_k = 0,75$ ;  $K_{o.и.} = 0,65$ ; нагрузка на сооружение составляет  $5,8\text{ м}^3/\text{ч}$ .

**Задача 4.** Определите суточную потребность в реагентах по товарному продукту в схеме Горизонтальный отстойник – скорый фильтр с учетом повторного использования промывной воды. Полезная производительность станции  $Q_{п} = 95\,750\text{ м}^3/\text{сут}$ ; доза безводного коагулянта принята равной  $65\text{ мг/л}$  (по мутности и цветности), доза полиакриламида принята  $0,5\text{ мг/л}$ . Содержание активного продукта безводной соли  $Al_2(SO_4)_3$  –  $33,5\%$ ; ПАА –  $8\%$  гель.

**Задача 5.** Выполните расчет распределительной системы для подачи воздуха в фильтровальных сооружениях с водовоздушной промывкой (распределительных труб). Фильтр имеет отделения в плане  $6 \times 4,8\text{ м}$ . интенсивность подачи воздуха  $18\text{ л/(с}\cdot\text{м}^2)$ . Распределительная система находится в гравийном слое. Расстояние между трубами в осях  $300\text{ мм}$ . Диаметр ответвлений принимается  $50\text{ мм}$ , площадь сечения трубы  $0,0019\text{ м}^2$ , распределение в ответвлениях  $\Delta_o = 0,018$ , характеристика трубопровода  $a = 0,2$ , коэффициент расхода  $\mu_o = 0,54$ .

**Задача 6.** Выполните расчет коллектора распределительной системы для подачи воздуха в фильтровальных сооружениях с водовоздушной промывкой (коллектора). Фильтр имеет отделения в плане  $6 \times 8\text{ м}$ . интенсивность подачи воздуха  $20\text{ л/(с}\cdot\text{м}^2)$ . Распределительная система находится в гравийном слое. Расстояние между трубами в осях  $300\text{ мм}$ . Диаметр ответвлений принимается  $50\text{ мм}$ , площадь сечения трубы  $0,0019\text{ м}^2$ , распределение в ответвлениях  $\Delta_o = 0,018$ , характеристика трубопровода  $a = 0,2$ , коэффициент расхода  $\mu_{кол} = 0,54$ . Площадь сечения трубы  $0,0707\text{ м}^2$ , число ответвлений  $20$ ,  $\sum f_o = 0,038\text{ м}^2$ .

## Практическое занятие 4

### Технико-экономическая эффективность внедрения активированных растворов коагулянта сульфата алюминия при очистке природных вод

Технологическая схема очистных сооружений городского водопровода, к примеру, включает реагентное хозяйство, смеситель, горизонтальные отстойники и скорые фильтры. При расчете годового экономического эффекта необходимо учесть стоимость коагулянта сульфата алюминия, электроэнергии, стоимость активатора реагентов, включая монтаж. Экономический эффект от внедрения активатора раствора коагулянта на очистных сооружениях определяют по формуле:

$$\mathcal{E} = C_{\kappa}' - C_{\kappa}'' - C'_{\mathcal{E}} - C_a, \quad (4.1)$$

где  $C_{\kappa}'$  – затраты на приобретение коагулянта по базовому варианту, грн.;

$C_{\kappa}''$  – затраты на приобретение коагулянта по внедренному варианту, грн.;

$C'_{\mathcal{E}}$  – затраты на электроэнергию, грн.;

$C_a$  – стоимость активатора, включая монтаж, грн.

Затраты на приобретение коагулянта по базовому варианту:

$$C_{\kappa}' = C_{\kappa} \cdot P, \quad (4.2)$$

где  $C_{\kappa}$  – стоимость коагулянта  $Al_2(SO_4)_3$ , грн.;

$P$  – планируемый расход коагулянта  $Al_2(SO_4)_3$  в зимне-весенние периоды.

Затраты на приобретение коагулянта по внедренному варианту:

Расход электроэнергии для питания активатора коагулянта:

$$N_{\mathcal{E}} = N \cdot t \cdot T, \quad (4.3)$$

где  $N$  – мощность активатора коагулянта, кВт·ч;

$t$  – время работы активатора коагулянта в течение суток, ч;

$T$  – количество суток работы активатора реагентов.

Затраты на электроэнергию:

$$C_{\mathcal{E}} = c_{\mathcal{E}} \cdot N_{\mathcal{E}}, \quad (4.4)$$

где  $c_{\mathcal{E}}$  – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, грн.;

$N_{\mathcal{E}}$  – расход электроэнергии для питания активатора коагулянта.

## СМ 2 РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД

### Практическое занятие 5

#### Создание безотходных и замкнутых технологий очистки сточных вод

Как показывает опыт эксплуатации, при работе систем водоснабжения газоочисток металлургических агрегатов в газоочистных аппаратах и трубопроводах происходит интенсивное образование плотных солевых отложений. Борьбу с отложениями карбоната кальция в теплообменных аппаратах и трубопроводах систем оборотного водоснабжения ведут разными способами.

Необходимость обработки воды для предотвращения карбонатным отложениям определяют по щелочностью воды, добавляют в систему, и коэффициентом испарения оборотной воды, при условии, если:

$$Щ_{\Pi} \cdot K_{\kappa} \geq 3, \quad (5.1)$$

где  $Щ_{\Pi}$  – щелочность свежей (подпиточной) воды, мг-экв/л;

$K_{\kappa}$  - коэффициент испарения или концентрирования хорошо растворимых солей оборотной воды.

Количество воды, сбрасывают из системы во время продувки для поддержания предельно допустимой (максимальной) величины карбонатной жесткости оборотной воды, % от расхода оборотной воды, определяют по формуле:

$$P_3 = \frac{P_1 \cdot Ж_{\text{ДОБ}}^K}{Ж_{\text{ПДК}}^K - Ж_{\text{ДОБ}}^K} - P_2 \quad (5.3)$$

где  $Ж_{\text{ДОБ}}$  – угольная жесткость свежей воды, добавляется мг-экв/л;

$Ж_{\text{ПДК}}^K$  – предельная жесткость оборотной воды, мг-экв/л.

### Практическое занятие 6

#### 6.1 Определение параметров эффективности и энергосбережения очистки сточных вод с помощью мембранных биореакторов (МБР)

По причине огромного разнообразия промышленных объектов и индивидуального состава стоков каждого из них, типовых решений водоочистки не существует. Однако есть общие требования – *максимальная очистка воды от загрязнителей, минимальные затраты на строительство*

очистных сооружений, максимальный возврат очищенной воды в цикл. Решением данной проблемы занимаются как на локальном уровне предприятий, так и в мировом научном сообществе. Одним из вариантов инновационных решений проблемы является мембранный биореактор (МБР).

**Мембранные биореакторы** – это синтез двух технологий водоочистки, *биологической и мембранной*. Мембранная очистка, сама по себе, это комплекс полупроницаемых мембран, отделяющих фильтрат от очищаемой суспензии. Жидкая часть может пройти через перегородку мембраны, а твердые частички загрязнителей, ввиду большего размера молекул, остаются на поверхности. Применяются различные материалы мембраны – полимеры, силикаты, металлы, графит, сажа, керамика, а так же клеточные оболочки бактерий и микроорганизмов.

*Биологический метод* очистки основан на способности микроорганизмов использовать различные составляющие сточных вод в качестве источника питания для своей жизнедеятельности. Задачей бактерий является превращение загрязнителей в безвредные продукты окисления. Процесс биохимического разрушения позволяет решать часть задач по очистке сточных вод предприятия, но имеет и свои существенные недостатки, которые решаются путем синтеза с мембранной технологией.

## **6.2 Определение параметров эффективности и энергосбережения с помощью ионообменной очистки сточных вод**

Ионообменный метод считается одним из перспективных для очистки сточных вод рассматриваемых производств. Этот метод позволяет достичь глубокой степени очистки сточных вод и извлечь из них ценные или вредные компоненты. Очищенная вода, а при определенных условиях и извлеченные вещества могут быть возвращены в производство или утилизированы.

В ионообменной очистке сточных вод выделяются три направления:

- 1) локальная ионообменная очистка промывных вод, образующихся в отдельных технологических процессах с утилизацией компонентов, возвращаемых в основной цикл, и использованием воды в обороте;
- 2) очистка отдельных категорий сточных вод (чаще всего реагентная) с последующим обессоливанием объединенного потока и нейтрализацией элюатов;
- 3) очистка общего потока сточных вод от токсичных примесей с последующим обезвреживанием элюатов от регенерации иоников и повторным использованием очищенной воды.

Выбор схемы ионообменной очистки и обессоливания сточных вод производится в зависимости от назначения установки, состава и расходов сточных вод, требований к качеству очищенной воды.

Объем катионита  $W_{hat}$ , м<sup>3</sup>, в водород-катионитовых фильтрах определяется по формуле:

$$W_{hat} = \frac{16q_w \left( \sum C_{en}^k - C_{ex}^k \right)}{n_{reg} E_{wc}^k}, \quad (6.1)$$

Площадь катионитовых фильтров определяется по формуле:

$$F_k = W_k / H_k, \text{ м}^2. \quad (6.2)$$

Расход реагента на регенерацию одного фильтра в одном цикле определяется по формуле:

$$P_k = W_k E_{wc}^k q_r N100 / m \cdot 10^3, \text{ кг}. \quad (6.3)$$

При повторном использовании части элюатов на регенерацию расход кислоты может быть сокращен на 30-40 %. Таким образом, использование ионитных установок возможно использовать в качестве ресурсосберегающих технологий при очистке сточных вод.

### **6.3 Определение параметров эффективности и энергосбережения с помощью сорбционной очистки сточных вод**

Сорбцией называют процесс поглощения одного вещества (сорбтива) другим (сорбентом) независимо от механизма поглощения. Сорбционные методы применяются :

- в основном производстве в замкнутых циклах для очистки технологических растворов и промывных стоков от жиров, масел и других органических загрязнений., которые либо переносятся из ванн обезжиривания, либо из технологических ванн с электролитами, в которых применяются органические добавки (блескообразователи, поверхностно-активные и т.п. ).

- на локальных очистных сооружениях перед обработкой стоков на установках, чувствительных к указанным веществам (ионообменным, мембранным и т.п.) и на заключительной стадии обезвреживания воды, когда из неё отстаиванием, фильтрацией, коагуляцией уже удалена основная масса взвешенных частиц, эмульгированных смол и масел, и вода освобождена от крупных мицелл коллоидных систем.



*Пример.* В процессах очистки пылевидные сорбенты распространения не получили, хотя и не требуют сложного аппаратного оформления сопутствующих использованию процессов. Возможно их сочетание с флотацией и флокуляцией (рис. 6.1).

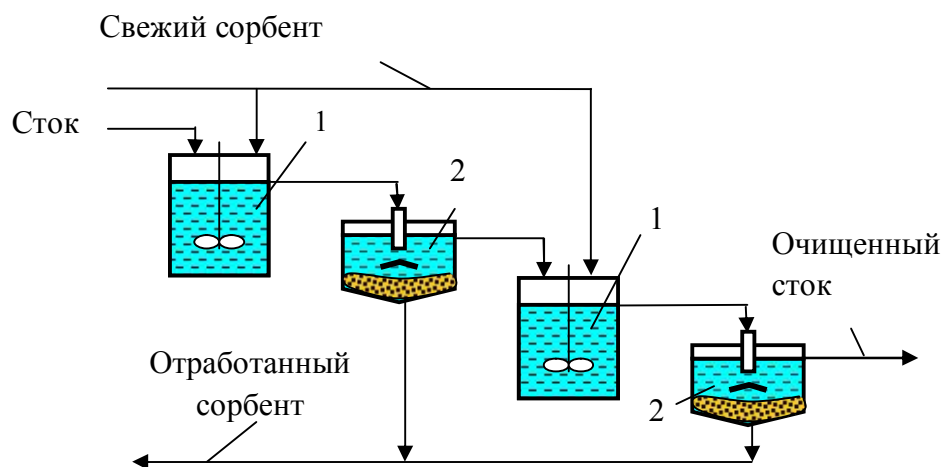


Рисунок 6.1 – Схема очистки стоков с дробным введением сорбента:  
1 – смеситель 2 – осветлитель

### 6.3.1 Обесфторивание воды методом контактно-сорбционной коагуляции

Обесфторивание воды методом контактно-сорбционной коагуляции основано на способности продуктов гидролиза алюминиевых коагулянтов (сернокислого алюминия, оксихлорида алюминия) извлекать фтор из воды. Процесс выделения фтора из воды значительно интенсифицируется в зернистом слое фильтровального сооружения, например, типа контактного осветлителя. В этом случае сорбция фтора осуществляется на поверхности контактной зернистой среды.

Для обеспечения требуемой глубины и эффективности процесса обесфторивания необходима предварительная зарядка загрузки – накопление в ней избытка гидролизуемых в воде солей, содержащих гидроксид алюминия. Зарядку следует осуществлять в самом начале каждого фильтроцикла и производить путем подачи в воду в течение 1-2 ч повышенной дозы коагулянта. Затем до конца фильтроцикла в воду необходимо вводить рабочую дозу коагулянта, которая в 3-5 раз менее зарядной. Для повышения прочности осадка при повышенном содержании фтора в исходной воде дополнительно возможно введение в воду флокулянта – полиакриламида.

Область применения метода ограничивается следующими ориентировочными значениями показателей качества исходной воды, которые в каждом конкретном случае необходимо корректировать пробными

технологическими изысканиями: фтор – не более 5 мг/л; жесткость – не менее 1,5-2,0 мг-экв/л; щелочность – до 3-5 мг-экв/л; pH – 7-8; сероводород – до 1,5-2,0 мг/л; железо (II) и (III) – до 5 мг/л.

Метод рекомендуется использовать на станциях производительностью 1 600–20 000 м<sup>3</sup>/сут. При соответствующем технико-экономическом обосновании возможно применение метода для станций большей производительности.

## **Практическое занятие 7**

### **Электролизные установки для обеззараживания воды**

Электролизные установки типа ЭН предназначены для получения обеззараживающего реагента – гипохлорита натрия путем электролиза раствора поваренной соли. Установки могут применяться для обеззараживания не только питьевой воды, но и промышленных и бытовых сточных вод, при обработке воды в плавательных бассейнах и т.п.

Обеззараживание воды прямым электролизом является разновидностью хлорирования. Сущность этого метода состоит в том, что под действием электрического тока из хлоридов, находящихся в обрабатываемой воде, образуется в основном активный хлор, который и обеззараживает воду непосредственно в потоке.

### **Порядок расчета электролизера для очистки циансодержащих сточных вод**

1. Необходимая величина тока в электрической цепи электролизера:

$$I_{cur} = \frac{2,06C_{cn}q_w}{\eta_{cur}}, \text{ А.} \quad (7.1)$$

Принимается к установке один выпрямитель переменного электрического тока, вырабатывающий постоянный электрический ток величиной 1600 А.

2. Объем сточных вод в электролизере составляет:

$$W_{el} = q_w t_{el}, \text{ м}^3. \quad (7.2)$$

3. Общая поверхность анодов:

$$f_{an} = \frac{I_{cur}}{I_{an}}, \text{ м}^2. \quad (7.3)$$

*Пример.* При использовании в качестве анодов плит из графитированного угля размером 1000×180×50 мм общая поверхность одной плиты составляет:

$$f'_{an} = 2 \cdot 0,18 \cdot 1 = 0,36 \text{ м}^2.$$

Далее необходимо определить общее количество плит (анодов) из графитированного угля, помещаемых в один электролизер:

$$N_{an} = f_{an}/f'_{an}, \text{ 28 шт.}$$

Общая поверхность катодов равна общей поверхности анодов. Размеры электролизера выбираются исходя из объема находящихся в нем сточных вод с учетом общего объема погруженных в воду электродов.

## **Практическое занятие 8**

### **Механическое обезвоживание осадков, образующихся на станциях водоподготовки**

Механическое обезвоживание осадков природных вод рекомендуется применять для осадков:

- образующихся на станциях обезжелезивания и умягчения подземных вод, - при отсутствии свободных территорий, высоком уровне грунтовых вод и большом количестве атмосферных осадков;
- поверхностных природных вод – замораживания и оттаивания осадков;
- при отсутствии свободных территорий и условий для естественного обезвоживания осадков, образующихся на станциях обезжелезивания и умягчения подземных вод, следует использовать вакуум-фильтры и ленточные фильтр-прессы.

При использовании вакуум-фильтров следует применять аппараты со сходящим полотном, обеспечивающие возможность регенерации фильтрующей ткани.

Для предварительных расчетов при проектировании влажность уплотненного в течение 2 ч осадка  $P_{упл}$  следует принимать, %:

- для осадка железосодержащих подземных вод – 97,0; при увеличении продолжительности уплотнения до 24 ч влажность уплотненного осадка снижается до 92-94;
- для осадка, образующегося на станциях умягчения воды, - 92-94.

Для предварительных расчетов при проектировании влажность уплотненного осадка поверхностных вод  $P_{упл}$ , %, в зависимости от качественных показателей исходной воды можно определять по следующему выражению:

$$P_{упл} = 96,034 + 1,8 \cdot 10^{-2} \cdot Ц - 3 \cdot 10^{-2} M - 1,26 \cdot 10^{-4} \cdot M^2, \quad (8.1)$$

где  $Ц$  - цветность исходной воды, град;

$M$  – мутность исходной воды, мг/л.

Продолжительность уплотнения осадков поверхностных вод следует принимать равной 6-10 ч в зависимости от качества осадков, причем с увеличением минеральных примесей в них продолжительность уплотнения снижается.

Для интенсификации процесса уплотнения в осадок добавляют ПАА из расчета 0,04 % массы сухого вещества осадка. Продолжительность уплотнения при этом следует принимать равной 2-4 ч. Флокулянты используют для сокращения расхода извести. При этом для предварительных расчетов следует принимать дозу флокулянта 0,2 % по активной части от массы сухих веществ и дозу извести по  $CaO$  – 20 % для маломутных цветных вод и 15% для вод средней цветности и мутности.

Эффективность применения вспомогательных веществ (зола-унос от сжигания торфа, уголь и сланцы, диатомит, перлит, опилки, песчаная пыль и другие отходы) необходимо подтвердить опытным путем. Обычно добавка вспомогательных веществ в количестве 50-100% массы сухих веществ осадка позволяет сократить расход извести в 2 раза.

### **Порядок определения основных технологических параметров процесса механического обезвоживания осадков**

Расчет уплотнителей следует осуществлять по максимальному часовому количеству осадка, образующемуся в период паводка, с учетом сокращения периода уплотнения в 2 раза. На период паводка необходимо предусматривать создание аккумулирующей емкости для уплотненного осадка, который не может быть обезвожен на установленном оборудовании.

Производительность обезвоживающих аппаратов может быть определена также по объему выделившегося фильтрата и влажности исходного и обезвоженного осадков из следующего соотношения:

$$W_{исх}(100 - P_{исх}) = (W_{исх} - W_{ф})(100 - P_{ос}) \quad (8.2)$$

откуда:

$$W_{исх} = W_{\phi} \frac{100 - P_{oc}}{P_{исх} - P_{oc}} \quad (8.3)$$

Производительность фильтр-прессов и вакуум-фильтров можно определить по следующим выражениям:

$$Q_{\phi-n} = \frac{W_{\phi}(100 - P_{oc})(100 - P_{исх})\rho_{исх}}{100(P_{исх} - P_{oc})F(\tau_{\phi} + \tau_{отж} + \tau_{всп})} K; \quad (8.4)$$

$$Q_{\phi-n} = \frac{W_{\phi}(100 - P_{oc})(100 - P_{исх})\alpha_{\phi}\rho_{исх}}{3600(P_{исх} - P_{oc})F\tau_{\phi}} K. \quad (8.5)$$

Для предварительных расчетов при проектировании производительность вакуум-фильтров при обезвоживании осадков, образующихся на станциях обезжелезивания, следует принимать равной 80-100 кг/(м·ч), влажность обезвоженного осадка – 60-70%.

## Практическое занятие 9

### Экономический и экологический эффект от использования ресурсосберегающих технологий

Основными недостатками реагентного осветления и обесцвечивания воды являются значительные габариты реагентного хозяйства, большой расход реагента, особенно при низких температурах, а также в период весеннего паводка цветения воды. В это время сооружения работают с большой нагрузкой, нередко не обеспечивают требуемую степень очистки воды и расчетную производительность очистных сооружений.

*Пример.* Для повышения эффективности работы очистных сооружений водоснабжения и ресурсосбережения при подготовке питьевой воды возможно использовать метод обработки воды с применением активированного раствора коагулянта. Данный метод позволяет существенно повысить качество очистки питьевой воды от взвешенных веществ и цветности, снизить дозы коагулянта без ухудшения качества осветленной воды и повысить производительность очистных сооружений системы водоснабжения.

Таким образом, исследования проф. Душкина С. С. показали, что использование активированного раствора коагулянта сульфата алюминия при очистке воды позволяет снизить остаточное содержание алюминия в осветленной воде в среднем на 45-50 % и этим самым повысить экологическую безопасность питьевой воды.

# **СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ДИСЦИПЛИНЫ, КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

## **СМ 1 РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ОЧИСТКЕ ПРИРОДНЫХ ВОД**

### **1 Классификация ресурсосберегающих технологий, пути достижения. Оборотные и замкнутые системы водоснабжения**

Контрольные вопросы:

1. Классификация ресурсосберегающих технологий.
2. Критерии их выбора.
3. Оборотные и замкнутые системы водоснабжения, сопутствующие проблемы при их создании. Продувка системы.

### **2 Реагентные методы ресурсосберегающих технологий процессов очистки воды. Коагулянты нового поколения и современные флокулянты, их характеристика**

Контрольные вопросы:

1. Реагентные методы ресурсосберегающих технологий процессов очистки воды.
2. Коагулянты нового поколения, их характеристика.
3. Современные флокулянты, их характеристика.
4. Активация растворов коагулянта.
5. Режимы коагулирования.
5. Подбор оптимальных доз реагентов.

### **3 Безреагентная методы интенсификации процессов очистки воды**

Контрольные вопросы:

1. Физические методы ресурсосберегающих технологий, их классификация.
2. Характеристика наложения электрического, магнитного полей.
3. Действие ультразвуком.
4. Ионизирующее облучение.
5. Электрокоагуляция и аппараты, их конструкция.

### **4 Распределители реагентов. Активация реагентов. Аэрирования как средство интенсификации процессов коагуляции природных вод. Тонкослойные модули**

Контрольные вопросы:

1. Распределители реагентов.

2. Активация реагентов.
3. Аэрирования как средство интенсификации процессов коагуляции.

## **5. Напорная гидравлическая система смыва осадка. Флотационные сооружения**

Контрольные вопросы:

1. Напорная гидравлическая система смыва осадка.
2. Флотационные сооружения, их характеристика, назначение, область применения.

## **6. Водовоздушная промывка фильтрующих сооружений. Дренажи быстрых фильтров из пористого полимербетона, методы увеличения их грязеемкости, времени фильтроцикла. Фильтры с плавающей пенополистирольной загрузкой**

Контрольные вопросы:

1. Водовоздушная промывка фильтрующих сооружений.
2. Дренажи быстрых фильтров из пористого полимербетона.
3. Методы увеличения их грязеемкости, времени фильтроцикла.
4. Фильтры с плавающей пенополистирольной загрузкой.

## **7. Потери воды в системах городского водоснабжения.**

Контрольные вопросы:

1. Потери воды в системах городского водоснабжения. Классификация.
2. Борьба с вытеканиями и потерями.
3. Безводомерный учет воды.
4. Мероприятия борьбы с воровством воды.
5. Меры уменьшения неучтенных потерь воды.

## **СМ 2. РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД**

### **8. Современные основные направления ресурсосбережения при очистке сточных вод**

Контрольные вопросы:

1. Классификация ресурсосберегающих технологий.
2. Создание безотходных и замкнутых технологий очистки сточных вод.

### **9. Современные реагенты и материалы в процессах очистки сточных вод, их классификация. Способы приготовления и дозирования**

Контрольные вопросы:

1. Современные реагенты и материалы в процессах очистки сточных вод, их классификация.

2. Способы приготовления и дозирования реагентов.
3. Автоматизация работы технологического оборудования.
4. Использование высшей водной растительности при очистке сточных вод.

#### **10. Группы мембран в процессах очистки сточных вод. Ионообменная и сорбционная очистка сточных вод**

Контрольные вопросы:

1. Группы мембран в процессах очистки сточных вод.
2. Ионообменная очистка сточных вод.
3. Сорбционная очистка сточных вод.

#### **11. Электролизные установки для обеззараживания воды. Способы повышения дозы активного ила, улучшение системы аэрации.**

Контрольные вопросы:

1. Электролизные установки обеззараживания воды. Область применения.
2. Способы повышения дозы активного ила.
3. Улучшение системы аэрации, методы достижения.

#### **12. Обезвоживание осадков. Использование вермикультур для утилизации осадков. Использование высшей водной растительности**

Контрольные вопросы:

1. Обезвоживание осадков.
2. Подготовка осадка к механическому обезвоживанию
3. Центрифугирование, классификация.
4. Использование вермикультур для утилизации осадков.
5. Использование высшей водной растительности.

#### **13. Технико-экономическое обоснование внедрения методов интенсификации работы сооружений очистки сточных вод. Экономический и экологический эффект от применения ресурсосберегающих технологий**

Контрольные вопросы:

1. Методы расчета технико-экономического обоснования от внедрения методов интенсификации работы сооружений очистки сточных вод.
2. Экономический и экологический эффект от применения ресурсосберегающих технологий. Методы расчета.



## РЕКОМЕНДОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування : ДБН В.2.5-74:2013 / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – Київ, 2013. – 287 с.
2. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування : ДБН В.2.5-75:2013 / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – Київ, 2013. – 134 с.
3. Инструкция по борьбе с утечками и потерями воды на городских водопроводах / под ред. Л. Г. Кальян. – М. : Стройиздат, 1988. – 80с.
4. Пособие по проектированию сооружений для очистки и подготовки воды (к СНиП 2.04.02-84. "Водоснабжение. Наружные сети и сооружения") / НИИ КВОВ АКХ им. К.Д. Памфилова. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 128с.
5. Душкин С. С. Разработка научных основ ресурсосберегающих технологий подготовки экологически чистой питьевой воды : монография / С. С. Душкин, Г. И. Благодарная ; Харьк. нац. акад. городск.хоз-ва. – Харьков : ХНАГХ, 2009. – 95 с.
6. Душкин С. С. Физические методы водоподготовки : учебн. пособие / С. С. Душкин. – Киев : УМК ВО, 1989. – 151 с.
7. Эпоян С. М. Повышение эффективности работы сооружений при очистке питьевой воды: монография / С. М. Эпоян, Г. И. Благодарная, С. С. Душкин, В. А. Сташук; Харьк. нац. акад. городск. хоз-ва. – Харьков : ХНАГХ, 2013. – 190 с.
8. Душки С. С. Утечки воды из водопроводной сети и меры по обеспечению надежности водораспределительной системы : учеб. пособ. / С. С. Душкин, Г. И. Благодарная, Н. М. Яковенко, О. Н. Кудлач. Харьков, 2012. – 176с.
9. Онищук Г. І. Основи раціонального використання води у житлово-комунальному господарстві : навч. посібник / Г. І. Онищук, В. О. Сліпченко. – Київ, 1999. – 53с.
10. Душкин С. С. Ресурсосберегающие технологии очистки сточных вод: монография / С. С. Душкин, А. Н. Коваленко, М. В. Дегтярь, Т. А. Шевченко; Харьк. нац. акад. городск. хоз-ва. – Харьков: ХНАГХ, 2011. – 146 с.
11. Свитцов А. А. Введение в мембранную технологию / А. А. Свитцов. – М. : ДеЛипринт, 2007. – 208с.

*Навчальне видання*

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до проведення практичних занять та самостійної роботи  
з дисципліни

**«РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ ОЧИЩЕННІ  
ПРИРОДНИХ І СТИЧНИХ ВОД»**

*(для студентів 5 курсу денної форми навчання спеціальності  
8.06010108 – Водопостачання та водовідведення)*

*(Рос. мовою)*

Укладачі: **ДУШКІН** Станіслав Сергійович  
**ГАЛКІНА** Олена Павлівна

Відповідальний за випуск *К. Б. Сорокіна*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2015, поз. 110 М

---

Підп. до друку 13.05.2016  
Друк на ризографі.  
Зам. №

Формат 60x84/16  
Ум. друк. арк. 2,0  
Тираж 50 пр.

---

Видавець і виготовлювач:  
Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002  
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 4705 від 28.03.2014 р.